

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
„ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

**КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ  
ДО КУРСУ «БУДІВЕЛЬНА МЕХАНІКА  
ТА МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ»**

для студентів спеціальності 7.090214  
“Підйомно-транспортні, будівельні,  
дорожні, меліоративні машини та обладнання”

Затверджено  
редакційно-видавничою  
радою університету,  
протокол № 3 від 28.12.2009

Харків НТУ “ХПІ” 2010

**Контрольні завдання** до курсу «Будівельна механіка та металеві конструкції» для студентів спеціальності 7.090214 «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні машини та обладнання» / Григоров О.В., Петренко Н.О., Стрижак В.В. – Х. : НТУ «ХПІ», 2010. – 48 с.

Укладачі: О.В. Григоров  
Н.О. Петренко  
В.В. Стрижак

Рецензент: *Г.В. Вишинецький*

Кафедра підйомно-транспортних машин і обладнання

## **ВСТУП**

Дане видання призначене для студентів спеціальності 7.090214 «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні машини та обладнання» і покликане допомогти студентам оволодіти знаннями з курсу «Будівельна механіка та металеві конструкції». З цією метою вміщено завдання: з розрахунку балок, ферм, рам для сталого і рухомого навантаження, причому як статично визначених, так і статично невизначених систем; з розрахунку головної ферми та головної балки мостового крана і вибору їх перерізу тощо. Кожне завдання має 25 варіантів.

Мета даного видання: надати студентам знання з розрахунків металоконструкції кранів. Отримані знання студенти будуть використовувати при виконанні курсового та дипломного проектів, а також у подальшій інженерній діяльності.

## Р о з д і л 1. БУДІВЕЛЬНА МЕХАНІКА

### 1.1. Статистично визначені системи

**Завдання 1.** Побудувати лінії опорних реакцій та визначити значення згинальних моментів та поперечних сил за допомогою ліній впливу у перерізах, які подані в табл. 1 (дані до рис. 1, лінійні розміри  $a, b, c, l, n, d, k, t$  вимірюються у м).

Таблиця 1

Варі- ант	$P_1$ , кН	$P_2$ , кН	$P_3$ , кН	$q_1$ , кН/м	$q_2$ , кН/м	$q_3$ , кН/м	$a$	$b$	$c$	$l$	$n$	$d$	$k$	$t$
1	3	—	—	—	—	2	3	4	4	—	—	2	2	—
2	3	5	—	—	—	—	4	5	—	3	—	1,5	3	—
3	4	6	—	1	—	—	3	5	—	2,5	—	2	2	—
4	8	10	—	1,5	2	—	3	6	—	3	—	1,5	2,5	—
5	2	—	—	1,5	—	—	4	7	—	3	—	2	2,5	—
6	7	—	—	2	2,5	—	4	8	—	3	—	2	3	—
7	—	8	4	—	—	2	—	4	2,5	—	1,5	—	2	1,5
8	—	5	3	—	2	—	—	5	3	4	1,5	—	2,5	1,5
9	—	5	3	—	2	1	—	5	3	4	1,5	—	2,5	1,5
10	—	4	—	—	2	1,5	—	6	3	2	—	—	3	1,5
11	—	—	5	—	1,5	—	—	6	4	—	2	—	3	2
12	—	—	5	—	2	3	—	7	4	—	2	—	2	2
13	—	6	—	—	1	—	—	7	3	5	—	—	4	1,5
14	—	7	—	—	—	2	—	8	3	5	—	—	4	1,5
15	—	3	3	2	—	—	2	4	2	2	1	1	2	—
17	2	—	—	1	—	1	3	5	4	—	—	1,5	2,5	—
18	3	—	—	—	2	1	3	6	2	—	—	—	3	1
19	—	4	—	2	—	2	2	6	4	3	—	—	3	2
20	—	—	4	3	—	—	2	6	3	—	1,5	—	4	1,5

Продовж. табл. 1

Варі- ант	$P_1$ , кН	$P_2$ , кН	$P_3$ , кН	$q_1$ , кН/м	$q_2$ , кН/м	$q_3$ , кН/м	$a$	$b$	$c$	$l$	$n$	$d$	$k$	$m$
21	1	3	—	—	—	3	4	5	4	4	—	2	—	2
22	—	—	3	2	3	—	3	6	3	—	1,5	1,5	—	1,5
23	5	—	—	3	4	—	4	8	—	—	—	2	4	—
24	6	6	—	—	3	—	5	10	—	5	—	3	4	—
25	8	8	—	4	—	—	4	10	—	5	—	2	4	—

*Порядок виконання завдання*

1. За даними табл. 1 накреслити схему балки і проставити зовнішнє навантаження згідно з варіантом завдання (рис.1).

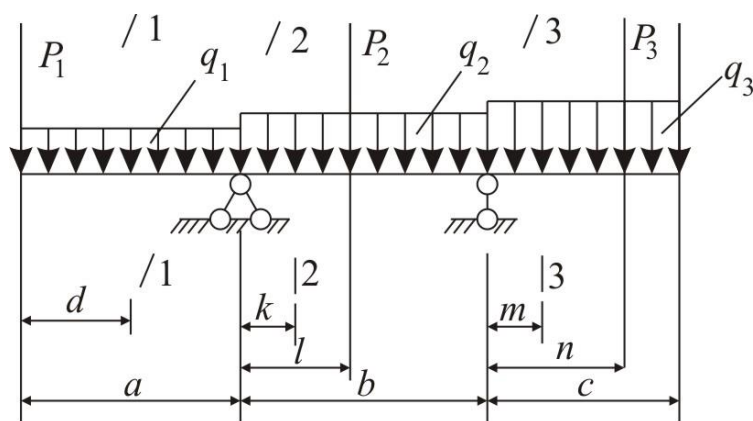


Рисунок 1

Подати числові значення навантаження і розмірів, наприклад:

$$P_1 = 5 \text{ кН}; a = 6 \text{ м і т. д.}$$

2. Побудувати лінії впливу:

а) опорних реакцій;

б) згинальних моментів у заданих перерізах і визначити їх значення;

в) поперечних сил у заданих перерізах і знайти їх значення.

На першій сторінці розмістити умову завдання і виконати графічну частину роботи. Усі розрахунки записати на наступних сторінках.

**Завдання 2.** Побудувати епюри згинального моменту і поперечної сили для багатопрогонової статистично визначеної балки. Варіанти завдання подано у табл. 2 ( $a, b, c, l, n, d, k, t, e$  вимірюються у м). Для перерізу  $I-I$  за допомогою ліній впливу знайти значення згинального моменту і поперечної сили.

Таблиця 2

Варіант	$P_1$ , кН	$P_2$ , кН	$P_3$ , кН	$q_1$ , кН/м	$q_2$ , кН/м	$q_3$ , кН/м	$a$	$b$	$c$	$d$	$e$	$l$	$n$	$k$	$t$
Дані до рис. 2															
1	3	4	5	—	—	—	4	5	4	3	3	3	1,5	2,5	1,5
2	3	4	—	—	—	2	5	4	5	4	2,5	3,5	2	2	—
3	4	—	—	—	3	2	4	4	4	3	2	3	1,5	—	—
4	—	5	5	3	—	—	5	5	5	3,5	3	3,5	—	2	2,5
5	3	—	4	—	2	—	4	4	4	3	2	3	2	—	2
6	6	—	—	—	3	4	4	6	3	3	1,5	2	1,5	—	—
7	—	—	—	2	3	4	3	5	3	2	3	2	—	—	—
8	—	5	5	4	—	—	4	5	5	3	3	4	—	2	3
Дані до рис. 3															
9	4	3	5	—	—	—	4	5	5	4	2	4	2	3	2,5
10	4	3	—	—	—	3	5	5	5	4	2	4	3	3	—
11	3	—	—	—	4	4	5	4	4	3	2	3	3	—	—
12	—	4	4	2	—	—	4	6	4	5	2	3	—	3	2
13	4	—	3	—	2	—	4	5	4	4	2	3	2	—	1,5
14	5	—	—	—	3	2	3	5	4	4	2	3	1,5	—	—
15	—	—	—	3	—	4	4	5	3	4	3	2	—	—	—
16	—	5	5	3	—	—	4	4	4	3	2,5	3,5	—	2	2

Продовж. табл. 2

Варіант	$P_1$ , кН	$P_2$ , кН	$P_3$ , кН	$q_1$ , кН/м	$q_2$ , кН/м	$q_3$ , кН/м	$a$	$b$	$c$	$d$	$e$	$l$	$n$	$k$	$m$
Дані до рис. 4															
17	5	—	—	—	2	—	4	1,5	3	4	3	—	2	1,5	2
18	6	—	—	—	—	2	4,5	1,5	4	4	3	—	2	2	2
19	4	—	—	2	3	—	5	2	4	3	4	—	3	2	1,5
20	—	5	—	3	—	2	6	2	3	4	4	—	—	1,5	2
21	5	—	—	2	—	3	5	1	4	4	2,5	—	2,5	2	2
22	8	6	—	—	—	2	4	1	5	5	2,5	—		3	2,5
23	7	—	5	—	2	—	5	1,5	3	4	4	—	3	1,5	2
24	—	4	—	2	3	—	5	1,5	3	4	3	—	—	1,5	2

Порядок виконання завдання

1. За даними табл. 2 накреслити у масштабі схему балки (рис. 2–4), позначивши навантаження і всі необхідні розміри у літерно-цифровому вигляді ( $P_1 = 5$  кН;  $b = 6$  м і т. д.).

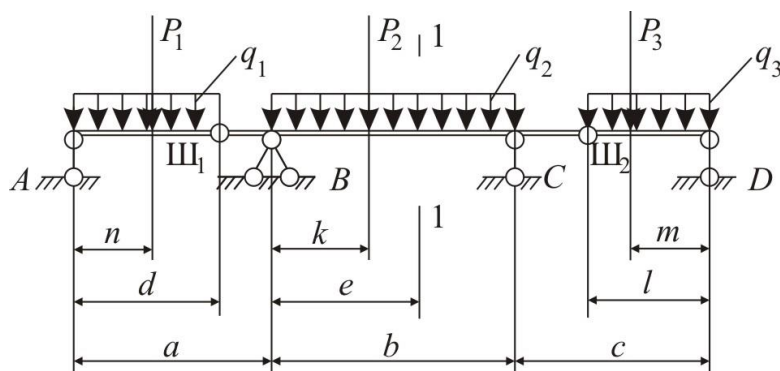


Рисунок 2

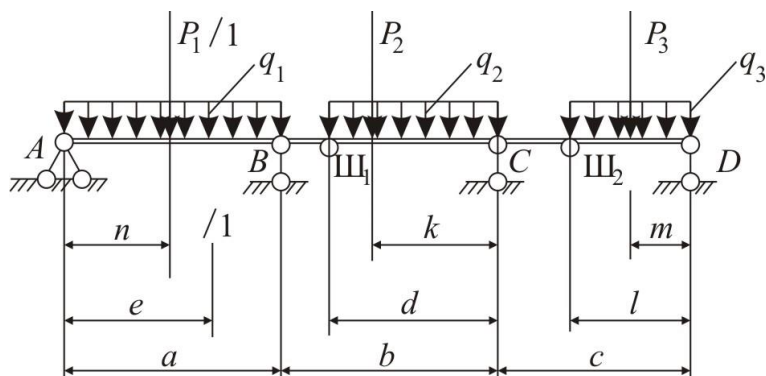


Рисунок 3

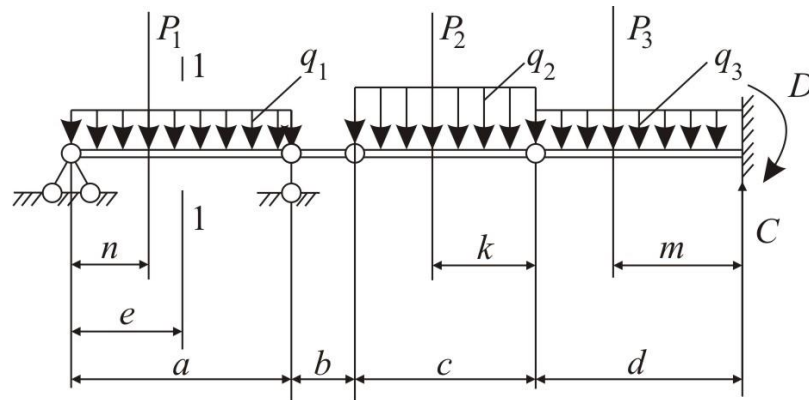


Рисунок 4

2. Виділити основні і допоміжні балки та побудувати так звану «поверхову» схему балки.

3. З умови рівноваги визначити реакції в опорах і шарнірах допоміжних балок, а згодом, знаючи реакції у шарнірах, – опорні реакції основних балок.

4. Повернутися до початкової схеми багатопрогонової балки і розбити її на ряд ділянок, які відрізняються зовнішнім навантаженням (при визначенні числа ділянок наявність проміжних шарнірів не враховується).

5. Для кожної ділянки скласти вираз поперечної сили і побудувати епюру поперечних сил для всієї балки.

Для зменшення обсягу розрахунків при побудові епюр  $M$  і  $Q$  доцільно вести розрахунок з обох кінців багатопрогонової балки.

7. Побудувати лінії впливу  $M_1$  і  $Q_1$  у перерізі  $1-1$ . Для цих побудов варто користуватися «поверховою» схемою балки, з якої наочно видно зміни  $M_1$  і  $Q_1$  при переміщенні одиничної сили  $P = 1$  Н уздовж усієї балки.

Розрахувати  $M_1$  і  $Q_1$  для заданого навантаження і порівняти ці значення зі значеннями епюр  $M$  і  $Q$ , побудованих у цьому перерізі.

8. Умова завдання, графіки епюр  $M$  і  $Q$ , а також лінії впливу  $M_1$  і  $Q_1$  розмістити на одній сторінці. Розрахунки виконувати на наступних сторінках з одного боку аркуша.

**Завдання 3.** Визначити зусилля у всіх стрижнях ферми графічним методом (діаграма Кремони).



Схема ферми і зовнішнє навантаження наведені у табл. 3 ( $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7$  вимірюються у кН).

Таблиця 3

Варіант	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$	$a$ , м	Стрижні
Дані до рис. 5									
1	5	4	—	—	4	—	—	2	$C-1; 1-2; n-2$
2	5	—	4	—	—	3	—	2	$d-3; 3-2; n-2$
3	—	5	4	—	—	4	—	2	$l-4; 4-5; n-5$
4	—	5	—	5	—	6	—	2	$f-6; 6-5; n-5$
5	—	—	6	3	—	—	4	2	$h-7; 7-8; n-8$
6	—	6	—	—	4	—	4	2	$9-k; 9-8; n-8$
7	—	—	4	5	—	—	6	2	$l-4; 5-4; n-5$
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	6	—	—	5	—	7	—	2	$1-2; 3-d; 3-4$
Дані до рис. 6									
9	4	4	—	—	5	—	—	2	$2-c; 2-1; 1-n$
10	—	5	6	—	—	6	—	2	$3-2; 4-d; 4-3$
11	—	—	7	8	—	5	—	2,5	$5-4; 6-5; 5-n$
12	—	—	7	—	8	—	4	2,5	$6-l; 6-5; 5-n$
13	—	—	—	6	7	6	—	2	$f-7; 7-8; 8-n$
14	—	—	4	—		3	5	1,8	$9-8; 9-10; 10-n$
15	2	—		4	5	—	—	1,8	$11-12; 11-10; n-12$
16	—	5	4	—	—	—	6	2	$11-12; 11-k; n-12$
Дані до рис. 7									
17	5	4	—	4	—	—	—	2	$1-b; 1-l; 2-b$
18	6	—	3	5	—	—	—	2	$2-b; 3-2; 3-k$
19	—	6	4	—	3	—	—	2,5	$4-b; 4-5; 5-h$
20	—	5	4	—	5	—	—	2,5	$6-b; 6-5; 7-6$
21	3	—	—	5		5	—	1,8	$8-7; 7-f; 8-c$
22	4	—	—	—	4	4	—	1,8	$9-8; 9-l; 8-c$
23	—	6	—	5		5	—	2	$10-c; 10-9; 9-l$
24	—	5	—	6		4	—	2	$10-c; 11-10; 11-d$

### Порядок виконання завдання

1. Визначити зусилля в деяких стрижнях (див. табл. 3) аналітичним методом.

2. Порівняти результати та знайти похибку графічного методу (вузол «0» належить до завдання 5).

**Завдання 4.** Побудувати лінії впливу зусиль у заданих стрижнях ферми згідно з вашим варіантом (див. табл. 4).

*Примітка.* Для ферми, яка показана на рис. 5, вантаж  $P = 1$  Н переміщується по верхньому поясу. Для ферм, показаних на рис. 6 та 7, вантаж  $P = 1$  Н переміщується по нижньому поясу.

Таблиця 4

Варіант	Найменування стрижнів		
	на рис. 5	на рис. 6	на рис. 7
1	$d-3; 2-3$	–	$4-5; f-7$
2	$l-4; 4-5$	–	$7-8; c-8$
3	$f-6; 5-6$	–	$5-h; 5-8$
4	$b-7; 4-7$	–	$l-9; 9-10$
5	$7-8; 8-n$	–	$b-4; k-3$
6	$n-2; 2-3$	–	$c-8; f-7$
7	$2-3; 3-4$	–	$8-6; 6-6$
8	$4-5; n-5$	–	$4-5; l-9$
9	$1-2; n-2$	$d-4; 3-4$	–
10	$c-1; d-3$	$n-5; 5-6$	–
11	$2-3; n-2$	$8-7; 7-8$	–
12	$3-4; l-4$	$f-7; 7-8$	–
13	$4-5; n-5$	$n-8; 8-9$	–
14	$f-6; 5-6$	$h-9; 9-10$	–
15	$h-7; 7-8$	$10-11; 11-12$	–
16	$h-8; 8-9$	$n-10; 9-10$	–

Продовж. табл. 4

Варіант	Найменування стрижнів		
	на рис. 5	на рис. 6	на рис. 7
17	–	–	$d-11; 10-11$
18	–	$c-2; 2-3$	$c-10; 9-10$
19	–	$d-4; 3-4$	$c-8; 8-9$
20	–	$h-3; 4-5$	$l-9; 7-8$
21	–	$h-5; l-6$	$f-7; 8-6$
22	–	$6-7; f-7$	$b-4; 4-5$
23	–	$7-8; n-8$	$3-4; h-5$
24	–	$8-9; h-9$	$k-3; 2-3$
25	–	$9-10; 10-11$	$l-9; f-7$

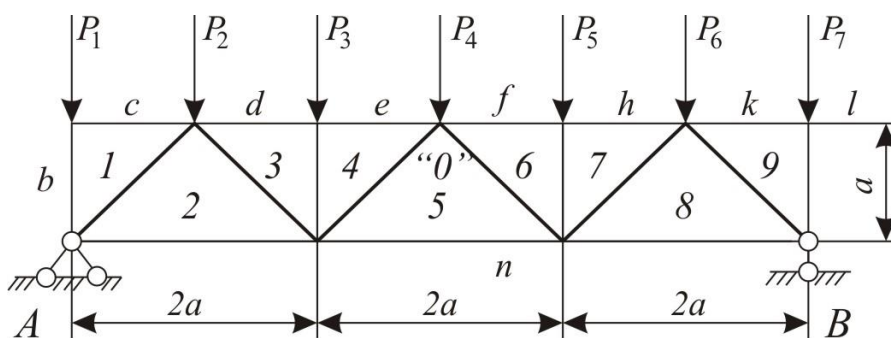


Рисунок 5

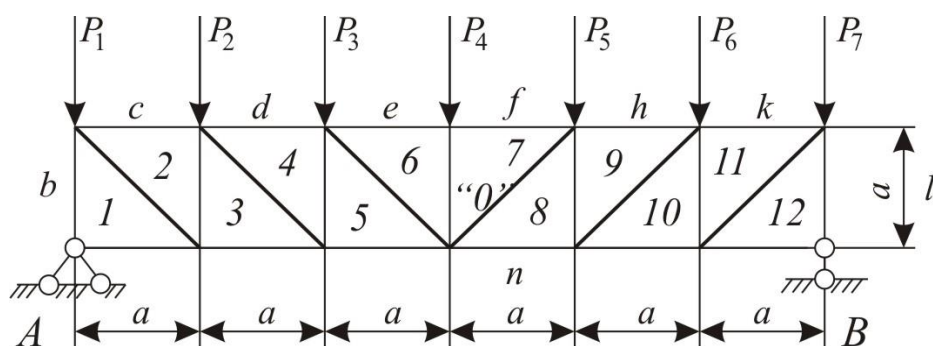


Рисунок 6

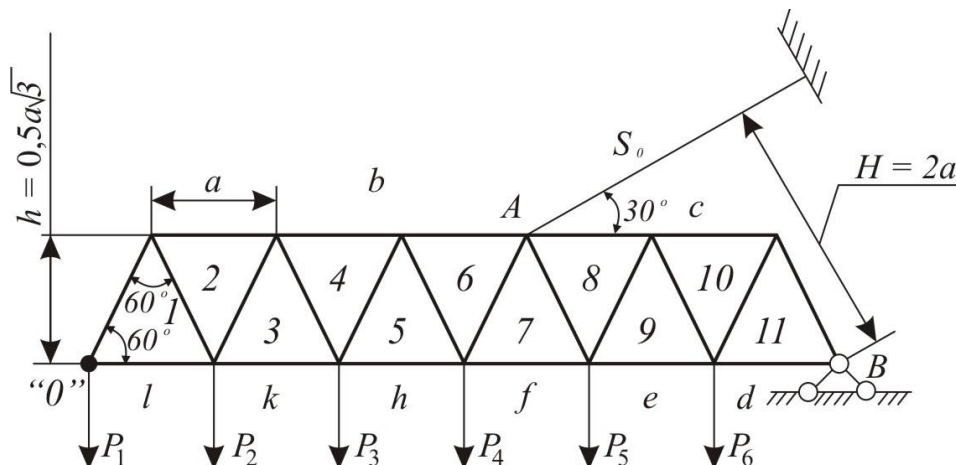


Рисунок 7

### Порядок виконання завдання

1. Накреслити геометричну схему першої ферми в заданому масштабі.

2. Побудувати лінії впливу опорних реакцій  $A$  і  $B$  (для ферми, яка показана на рис. 7, лінію впливу  $B$  можна не будувати).

3. Побудувати лінії впливу зусиль у заданих стрижнях ферми.

У такій же послідовності виконати завдання для другої ферми.

Схеми ферм і лінії впливу розташувати на першій сторінці завдання. Усі необхідні розрахунки подати на наступних сторінках з одного боку аркуша.

**Завдання 5.** Визначити за формулою Мора вертикальне переміщення вузла «0» ферми. Схеми ферми наведені на рис. 5–7, дані щодо зовнішнього навантаження – у табл. 3.

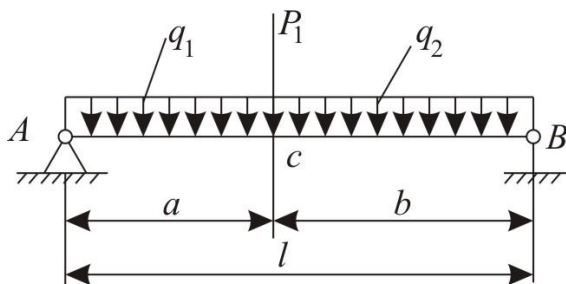


Рисунок 8

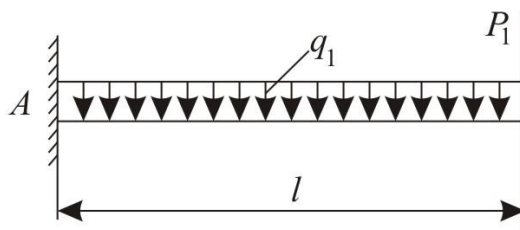


Рисунок 9

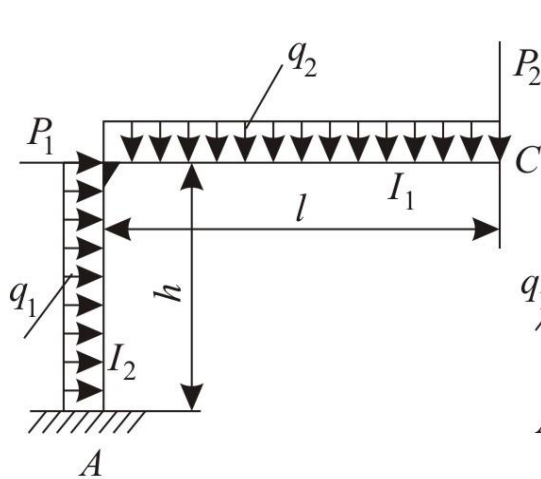


Рисунок 10

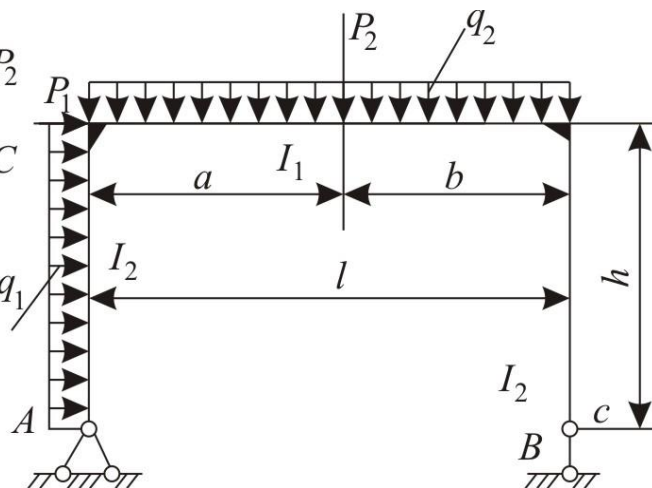


Рисунок 11

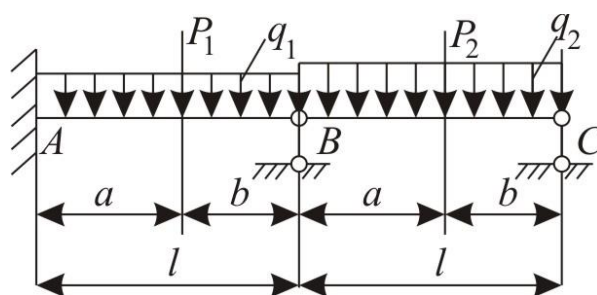


Рисунок 12

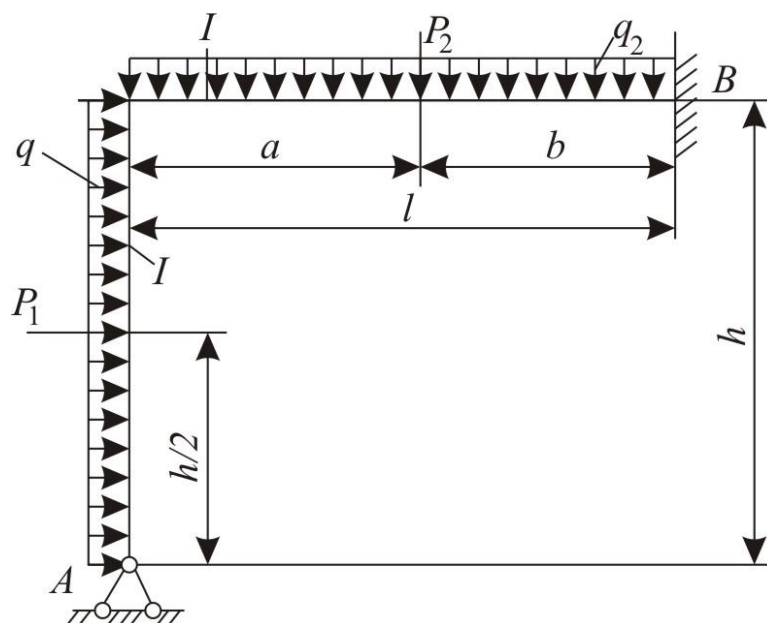


Рисунок 13

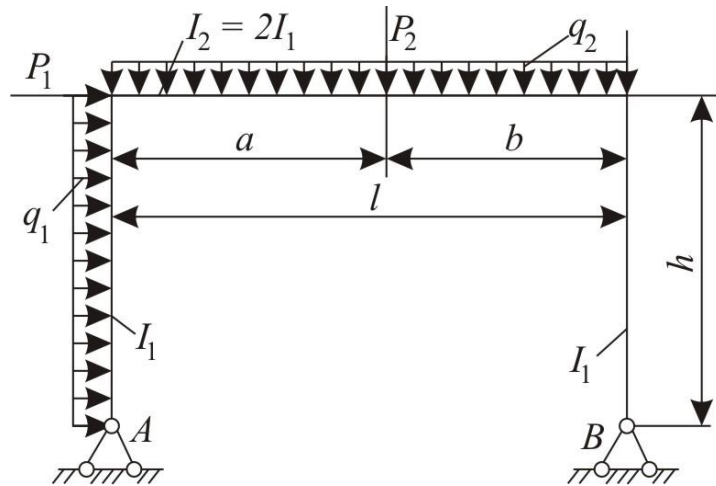


Рисунок 14

### Порядок виконання завдання

1. До вузла «0» прикладається одиничне навантаження  $N = 1$  кН. За допомогою діаграми Кремони визначити зусилля у всіх стрижнях ферми від  $N = 1$  кН.

Значення зусиль  $N$  звести у таблицю за зразком табл. 5 (колонка 7).

Таблиця 5

Розташування стрижня	Номер стрижня	Зусилля $S_{гр}$ , кН		Зусилля $S_a$ , кН		Зусилля від $N = 1$ кН	Похибка розрахунку, %
		+	-	+	-		
Верхній пояс							$\frac{S_a - S_{ад}}{S_a} \cdot 100$
Нижній пояс							$\frac{S_0 - S_{ад}}{S_a} \cdot 100$
Розкоси і стійки							$\frac{S_0 - S_{ад}}{S_0} \cdot 100$

2. Площу поперечного перерізу поясів, розкосів та стійок знайти з умови міцності:

$$\sigma = \frac{S}{F} \leq [\sigma],$$

де  $[\sigma] = 21 \text{ кГ/см}^2$  – допустимі напруження (відтягнення стріли вважається жорстким і до розрахунку не береться).

3. За формулою Мора обчислити прогин вузла «0»:

$$\Delta = \frac{1}{E} \sum_{i=1}^n \bar{S}_i S_{pi} l_i / F_i,$$

де  $\bar{S}_i$  – зусилля в  $i$ -му стрижні від  $N = 1$ ;  $S_{pi}$  – зусилля в  $i$ -му стрижні від зовнішнього навантаження (ці зусилля визначені при виконанні завдання 3);  $l_i$  – довжина  $i$ -го стрижня, см;  $n$  – число усіх стрижнів ферм;  $E = 2,1 \cdot 10^4 \text{ кН/см}^2$  – модуль пружності сталі.

**Завдання 6.** Визначити аналітично за формулою Мора та перевірити за методом Верещагіна прогин  $\delta$  або поворот перерізу  $\alpha$  у точці  $C$  балки.

Варіанти завдання наведені в табл. 6 (лінійні розміри  $a, b, l, h$  – у м); схеми до завдання подано на рис 8–11.

Таблиця 6

Варіант	$P_1$ , кН	$P_2$ , кН	$q_1$ , кН/м	$q_2$ , кН/м	$a$	$b$	$l$	$h$	$\delta$	$\alpha$
Дані до рис. 8										
1	5	–	2	–	3	4	7	–	+	–
2	6	–	–	1	4	4	8	–	+	–
3	–	–	3	4	3	5	8	–	+	–
4	10	–	–	2	4	3	7	–	+	–
5	12	–	3	–	4	5	9	–	+	–
6	–	–	4	5	5	5	10	–	+	–
Дані до рис. 9										
7	5	–	–	–	–	–	8	–	+	–
8	–	–	3	–	–	–	6	–	+	–
9	6	–	–	–	–	–	7	–	–	+
10	–	–	4	–	–	–	8	–	–	+

Продовж. табл. 6

Варіант	$P_1$ , кН	$P_2$ , кН	$q_1$ , кН/м	$q_2$ , кН/м	$a$	$b$	$l$	$h$	$\delta$	$\alpha$
Дані до рис. 10										
11	5	5	—	—	—	—	8	8	+	—
12	6	7	—	—	—	—	8	8	—	+
13	4	—	2	—	—	—	6	8	+	—
14	8	—	—	3	—	—	7	7	—	+
15	—	10	—	2	—	—	6	5	+	—
16	—	12	3	—	—	—	—	—	—	+
17	—	—	—	4	—	—	—	—	+	—
18	5	—	2	—	—	—	10	8	+	—
Дані до рис. 11										
19	6	—	2	—	—	—	8	6	+	—
20	6	6	—	—	4	4	8	7	+	—
21	5	—	—	2	—	—	10	8	+	—
22	—	5	—	2	3	5	8	6	+	—
23	—	—	3	3	—	—	6	6	+	—
24	—	10	—	2	4	4	8	5	—	+
25	10	—	—	2	—	—	8	6	—	+

### Порядок виконання завдання

1. У масштабі накреслити схему балки та проставити зовнішні навантаження.
2. Визначити опорні реакції  $R_A$  та  $R_B$ .
3. У точці  $C$  балки прикладається одинична сила ( $N = 1$  кН або  $M = 1$  кН·м). Побудувати епюру згинального моменту від одиничної сили.
4. Побудувати епюру згинального моменту від зовнішніх навантажень.
5. За формулою Мора знайти прогин  $\Delta$  або поворот перерізу  $\alpha$ ; при цьому варто пам'ятати, що інтегрування проводиться за окремими ділянками, а згодом результати за цими ділянками підсумовуються.
6. Визначити  $\Delta$  або  $\alpha$  за методом Верещагіна.
7. Порівняти результати та трудомісткість аналітичного і графічного методів.



## 1.2. Статично невизначені системи

**Завдання 7.** Побудувати епюру згинальних моментів для балки (рами), використовуючи канонічні рівняння методу сил.

Вихідні дані завдання наведені в табл. 7 ( $a, b, l, h$  – у м); схеми до завдання подано на рис. 12–14.

Таблиця 7

Варіант	$P_1$ , кН	$P_2$ , кН	$q_1$ , кН/м	$q_2$ , кН/м	$a$	$b$	$l$	$h$
Дані до рис. 12								
1	6	–	–	–	4	3	7	–
2	–	6	–	–	3	2	5	–
3	–	–	2	–	–	–	6	–
4	–	–	–	3	–	–	7	–
5	10	–	–	–	3	3	6	–
6	–	10	–	–	4	2	6	–
7	–	–	3	–	–	–	7	–
8	–	–	–	4	–	–	6	–
Дані до рис. 13								
9	20	–	–	–	–	–	10	8
10	–	20	–	–	4	4	8	6
11	–	–	5	–	–	–	12	10
12	–	–	–	4	–	–	10	8
13	30	–	–	–	–	–	12	6
14	–	30	–	–	5	6	11	8
15	–	–	3	–	–	–	10	7
16	–	–	–	6	–	–	14	8

Продовж. табл. 7

Варіант	$P_1$ , кН	$P_2$ , кН	$q_1$ , кН/м	$q_2$ , кН/м	$a$	$b$	$l$	$h$
Дані до рис. 14								
17	20	—	4	—	—	—	14	10
18	20	30	—	—	5	5	10	8
19	20	—	—	4	—	—	12	8
20	—	20	4	—	6	6	12	8
21	—	20	—	3	7	7	14	10
22	—	—	3	3	—	—	10	6
23	30	—	3	—	—	—	12	6
24	30	30	—	—	8	4	12	7
25	—	30	—	3	6	8	14	8

*Порядок виконання завдання*

1. Вибрати основну систему шляхом відкидання зайвих зв'язків.
2. Дію зайвих зв'язків замінити прикладанням до основної системи невідомих зусиль (сил або моментів).
3. Скласти канонічне рівняння.
4. Основну систему по чергово навантажувати одиничними зусиллями  $x_1 = 1$ ,  $x_2 = 1$  і від кожного з них побудувати одиничну епюру згинальних моментів  $\bar{M}_1$ ,  $\bar{M}_2$ .
5. Побудувати вантажну епюру згинальних моментів  $M_p$  як для статично визначеної системи (без урахування зайвих зв'язків).
6. Перемноженням одиничних епюр (аналітично за Мором або графічно за методом Верещагіна) знайти усі коефіцієнти.
7. Перемноженням одиничних та вантажних епюр визначити вантажні члени  $\Delta_{ip}$  канонічного рівняння.
8. Розрахувати систему канонічних рівнянь і визначити  $x_1$ ,  $x_2$ .
9. До основної системи прикласти знайдені значення  $x_1$  і  $x_2$  (якщо  $x_1$  або  $x_2$  виявилися від'ємними, необхідно їх направити у бік, протилежний одиничним силам  $x_1 = 1$  або  $x_2 = 1$ ), зовнішні навантаження і побудувати сумарну епюру згинальних моментів  $M_c$ .

Це можна зробити графічно, збільшивши одиничні епюри у  $x_1$  та  $x_2$  рази і склавши їх з вантажною епюрою:

$$M_c = M_p + x_1 \bar{M}_1 + x_2 \bar{M}_2.$$

10. Правильність побудови сумарної епюри перевірити за виразами:

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \bar{M}_{li} \cdot \bar{M}_{ci} = 0; \quad (1)$$

або 
$$\Delta = \sum_{i=1}^n \bar{M}_{2i} \cdot \bar{M}_{ci} = 0, \quad (2)$$

де  $n$  – число ділянок балки (рами), яке визначається числом стрижнів рами, якщо характер епюри згинального моменту на ділянці не змінюється, у протилежному випадку стрижень рами може мати дві й більше ділянок.

11. Залежності (1) і (2) показують, що переміщення опорних реакцій дорівнюють нулю. Користуватися варто тим рівнянням, де простіша одинична епюра, що значно зменшить обсяг розрахунків.

**Завдання 8.** Визначити зусилля у стрижнях ферм, поданих на рис. 15 і 16.

Вихідні дані наведені у табл. 8 ( $P_1, P_2, P_3, P_4$  вимірюються у кН).

Таблиця 8

Варіант	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$d$ , м	$H$ , м	$h$ , м
Дані до рис. 15							
1	10	–	–	–	1,2	10	–
2	15	–	–	–	1,5	12	–
3	20	–	–	–	1,5	15	–
4	–	10	–	–	1	10	–
5	–	15	–	–	1,4	15	–
6	–	20	–	–	1,5	15	–
7	–	–	10	–	1	8	–
8	–	–	15	–	1,2	10	–
9	–	–	20	–	1,5	10	–
10	–	–	–	20	1	10	–
11	–	–	–	30	0,8	8	–
12	–	–	–	40	1,5	12	–

Продовж. табл. 8

Варіант	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$d, \text{ м}$	$H, \text{ м}$	$h, \text{ м}$
Дані до рис. 16							
13	20	—	—	—	1	5	1
14	25	—	—	—	0,8	5	1
15	30	—	—	—	0,7	4	0,8
16	15	—	—	—	0,6	3	0,8
17	—	30	—	—	1	6	1
18	—	25	—	—	0,8	5	1
19	—	15	—	—	0,8	5	1
20	—	30	—	—	0,5	4	0,6
21	—	—	10	—	1	6	1
22	—	—	15	—	0,8	5	1
23	—	—	20	—	0,5	4	0,6
24	—	—	25	—	0,8	4	0,8
25	—	—	30	—	1	5	1

## Порядок виконання завдання

1. У масштабі накреслити схему ферми, проставити розміри і навантаження. Виявити «нульові» стрижні та позначити внутрішні (цифрами) і зовнішні (літерами) області.

2. Вибрати основну систему.

3. Побудувати діаграми Кремони від одиничної сили  $x_1 = 1$  (діаграма  $S$ ) і від зовнішнього навантаження (діаграма  $S_p$ ).

Значення зусиль у стрижнях  $\bar{S}_i$  і  $S_{p_i}$  занести у таблицю за зразком табл. 9.

Таблиця 9

Стрижень	$\bar{S}$		$S_p, \text{ кН}$		$l, \text{ см}$	$\bar{S}^2 l, \text{ см}$	$\bar{S} S_p l, \text{ кН} \cdot \text{см}$	$S_c = S_p + x \bar{S}, \text{ кН}$
	+	—	+	—				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1								
.								
.								
.								
$n$								
							$\Sigma$	

4. Скласти канонічне рівняння.

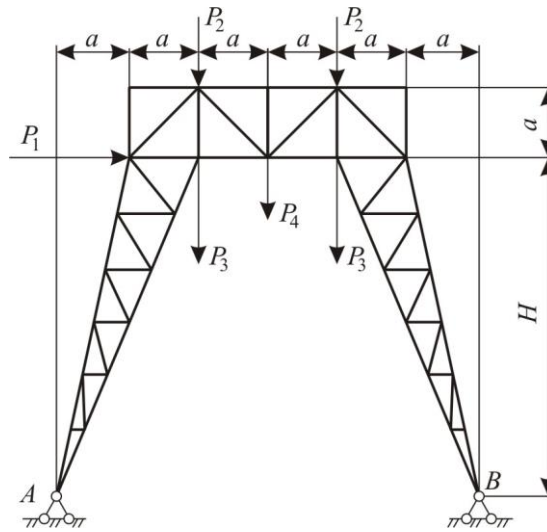


Рисунок 15

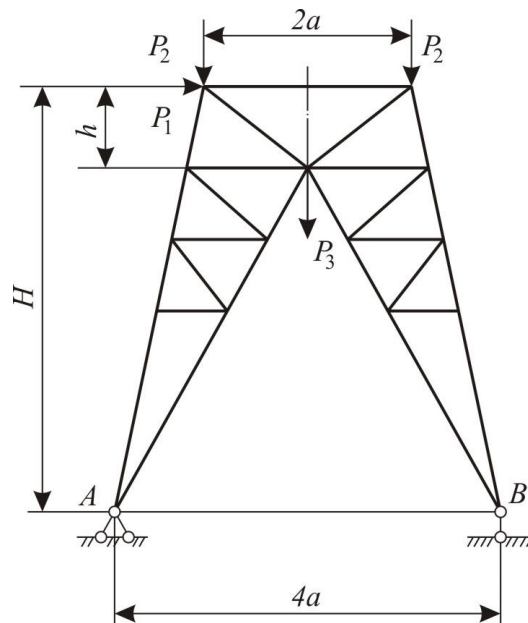


Рисунок 16

5. Обчислити коефіцієнти  $\delta_{11}$  та  $\Delta_{ip}$  канонічного рівняння:

$$\delta_{11} = \frac{1}{E} \sum_{i=1}^n \bar{S}_i^2 \frac{l_i}{F_i}; \Delta_{ip} = \frac{1}{E} \sum_{i=1}^n \bar{S}_i S_{pi} \frac{l_i}{F_i}$$
 і знайти невідоме  $x_1$ . Попередньо площу перерізу стрижнів  $F_i$  визначити з умови міцності, при цьому зусилля у стрижнях знайти з діаграми  $S_p$ .

6. Розрахувати зусилля у стрижнях статично невизначеної ферми  $S_c$ .

Зусилля у стрижнях знайдені правильно, якщо

$$\sum_{i=1}^n S_{ci} \bar{S}_i \frac{l_i}{F_i} = 0.$$

**Завдання 9.** Побудувати епюру згинального моменту для основної балки шпренгельної конструкції.

Балку такої конструкції показано на рис. 17 і 18.

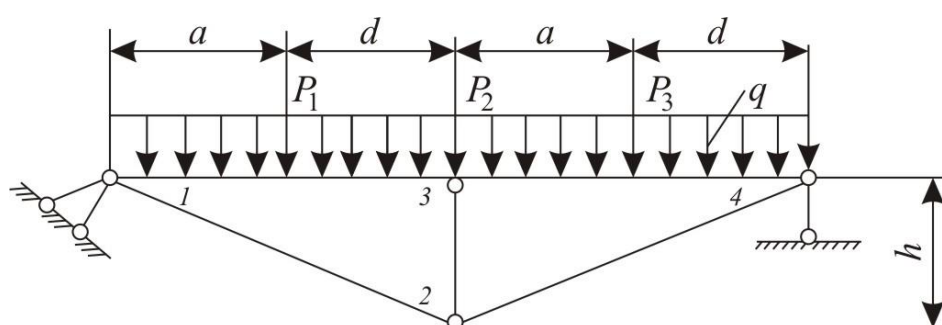


Рисунок 17

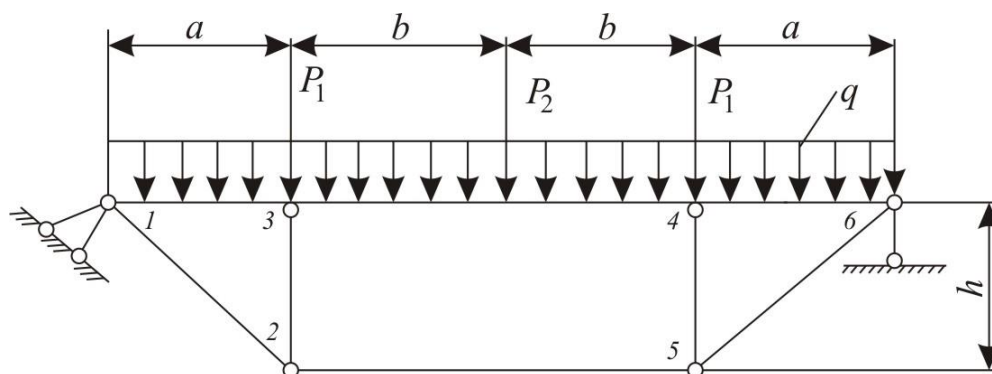


Рисунок 18

Позначити площу перерізу стрижнів  $F$ , площу перерізу основної балки  $F_1 = \alpha F$ , момент інерції перерізу  $I = \beta F_1 = \alpha \beta \cdot F$ ,  $\alpha = 10 \div 15$ . Решту даних узяти з табл. 10 ( $d, b, h$  вимірюють у м).

Таблиця 10

Варіант	$P_1$ , кН	$P_2$ , кН	$q$ , кН/м	$d$	$b$	$h$
Дані до рис. 17						
1	10	—	—	3	—	3
2	8	—	—	4	—	4
3	—	8	—	3	—	4
4	—	10	—	4	—	5
5	—	—	3	3	—	4
6	—	—	4	4	—	6
7	20	—	—	2,5	—	5
8	30	—	—	3	—	6
9	—	20	—	4	—	8
10	—	30	—	4	—	7
11	—	—	5	3,5	—	6
12	—	—	6	3,5	5	5
Дані до рис. 18						
13	10	—	—	4	3,5	4
14	8	—	—	4	3,5	3,5
15	—	8	—	3	3	3
16	—	10	—	3	3	2,5
17	—	—	3	4	3,5	4
18	—	—	4	4	3,5	3,5
19	15	—	—	2,5	2	2
20	20	—	—	3	2	2
21	—	15	—	2	2	2
22	—	20	—	2	2	1,5
23	—	—	3	3	3	3
24	—	—	4	4	3	3
25	—	—	5	4	3	2,5

### Порядок виконання завдання

1. Вибрати основну систему – розрізати стійку (рис. 17) або затяжку (рис. 18) і внутрішнє зусилля замінити невідомим зусиллям  $x$ .
2. Аналітично (методом вирізання вузлів) визначити поздовжні зусилля  $N_i$  в елементах шпренгеля від одиничної сили  $\bar{N} = 1$ .  
Знайдені зусилля звести у таблицю за зразком табл. 11.

Таблиця 11

Номер стрижня	$l$ , см	$\bar{N}$	$\bar{N}^2 l$ , см
1			$\sum_{i=1}^n \bar{N}_i^2 l_i$
2			
...			
$n$			

3. Скласти канонічне рівняння методу сил.
4. Для основної балки побудувати епюру згинального моменту  $M_p$  від зовнішнього навантаження; для цієї ж балки від зусилля у стійках побудувати епюру згинального моменту  $\bar{M}$ .
5. Розрахувати переміщення  $\delta_{11}$ , при цьому варто враховувати не тільки деформацію стрижнів від поздовжніх зусиль  $N_i$ , але й вигин основної балки від  $x = 1$ , тобто одиничну епюру  $\bar{M}$ .
6. Перемноженням одиничної  $\bar{M}$  і вантажної  $M_p$  епюр обчислити коефіцієнт  $\Delta_{1p}$ .
7. Розв'язати канонічне рівняння і знайти  $x$ .
8. Згинальний момент в основній балці і поздовжні зусилля в одиничних елементах шпренгеля визначити підсумовуванням вантажних зусиль з одиничними, збільшеними в  $x$  разів.
9. Побудувати епюру згинального моменту від зовнішнього навантаження для основної балки, не підпертої шпренгелем.
10. Порівняти значення максимального моменту для балки, підпертої шпренгелем (п. 8), і балки без шпренгеля (п. 9).



## Р о з д і л 2. МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ

**Завдання 10.** Знайти зусилля у стрижнях кранової ферми (рис. 19) від власної ваги і рухомого навантаження.

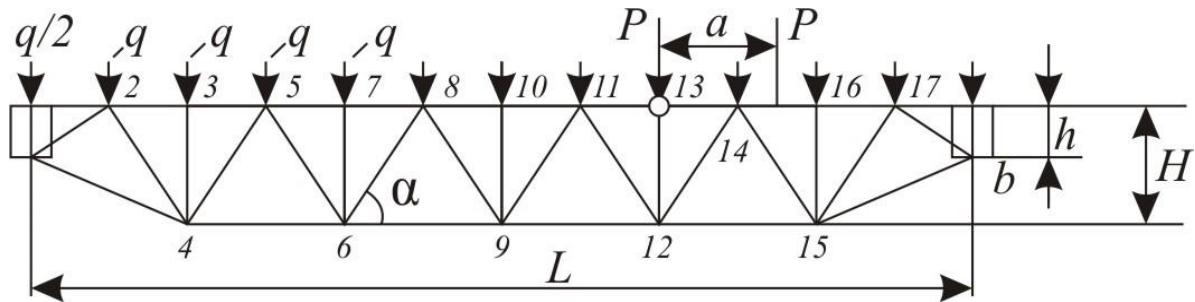


Рисунок 19

Вихідні дані наведені у табл. 12.

Таблиця 12

Варіант	$L$ , м	$Q$ , кН	$a$ , м	Матеріал конструкції	Режим роботи	$G_t$ , кН	$G_{\phi}$ , кН
1	10,5	100	1,4	Вст. 3	К3	24	20
2	13,5	100	1,4	—“—	К4	24	24
3	16,5	100	1,4	—“—	К5	24	28
4	19,5	150	1,7	09Г2	К6	44	50
5	22,5	150	1,7	—“—	К7	45	60
6	25,5	150	1,7	—“—	К8	46	70
7	28,5	200	2,0	Вст. 3	К3	70	150
8	31,6	200	2,0	—“—	К4	72	180
9	34,5	200	2,0	—“—	К5	75	200
10	16,5	250	2,0	09Г2	К6	80	100
11	19,5	250	2,0	09Г2	К7	80	120
12	22,5	250	2,0	09Г2	К8	80	140
13	25,5	300	2,2	Вст. 3	К3	100	180
14	28,5	300	2,2	Вст. 3	К4	120	220
15	31,5	100	1,4	Вст. 3	К5	25	110

Продовж. табл. 12

16	16,5	100	1,4	09Г2	К6	25	40
17	19,5	100	1,4	09Г2	К7	28	50
18	22,5	200	2,0	09Г2	К5	70	110
19	22,5	200	2,0	09Г2	К6	72	130
20	28,5	100	1,4	09Г2	К7	25	100

У табл. 12 позначено:  $L$  – прогін мосту,  $Q$  – вантажопідйомність,  $a$  – база візка,  $G_T$  – вага вантажного візка,  $G_\phi$  – вага ферми.

### Порядок виконання завдання

1. Вибрати геометричну схему ферми, її висоту визначити як  $H = (\frac{1}{14} \div \frac{1}{20})L$ , причому менше значення приймати для більших прогонів. Висота  $H$  повинна бути кратною 50 мм. Кут нахилу розкосів уважати рівним  $45^\circ \div 50^\circ$ .

Висота  $h = (0,5 \div 0,6)H$ .

2. Власна вага ферми  $G_\phi$  розподіляється рівномірно по вузлах верхнього пояса, причому на крайні вузли прикладаємо половину навантаження. Оскільки ферма на рис. 19 має 13 вузлів, то навантаження на вузол

$$q = \frac{2}{3} \cdot \frac{G_\phi}{12}$$

(вважати, що  $1/3 G_\phi$  сприймається допоміжною боковою фермою).

3. Підрахувати тиск ходового колеса вантажного візка:

$$P = \frac{G_\phi + n \cdot Q}{4},$$

де  $n$  – коефіцієнт, який залежить від режиму роботи (при  $k = 3 \div 4$  маємо  $n = 1,1$ ; при  $k = 5 \div 6$  буде  $n = 1,2$ ;  $k = 7 \div 8$ , тоді  $n = 1,4$ ).

4. Графічно (діаграма Кремони) або аналітично визначити зусилля  $S_q$  в елементах ферми від власної ваги (зусилля у стрижнях верхнього і нижнього поясів, розкосах і стійках).

5. Аналітично знайти максимальні зусилля в елементах ферми  $S_p$  від рухомого навантаження, при цьому треба мати на увазі, що якщо стрижні верхнього пояса будуть стиснуті, стрижні нижнього пояса розтягнуті, то зусилля у розкосах матимуть різні знаки залежно від напрямку пересування вантажного візка. Тому при визначенні максимальних зусиль у розкосах необхідно їх знайти двічі: коли візок переміщується справа наліво і зліва направо.

6. Зусилля  $S_q$  і максимальні зусилля  $S_p$  звести в таблицю, обчисливши загальне зусилля у стрижнях:  $S = S_q + S_p$ .

**Завдання 11.** Розрахувати зварний вузол кранової ферми.

Як об'єкт зварного вузла узяти вузли кранової ферми, яка наведена на рис. 19.

#### *Порядок виконання завдання*

За відомими зусиллями  $S_q$  і  $S_p$  (зусилля в елементах визначені при виконанні завдання 10) з умови міцності вибрати площі перерізу кутиків:

$$\sigma = \frac{S_q + S_p}{F} \leq mR,$$

де  $m = 0,9$  – коефіцієнт умов праці;  $R$  – розрахунковий опір сталі.

Розрахунковий опір для Ст. 3 – 200 МПа, для Ст. 09Г2 – 300 МПа.

2. За площею перерізу  $F$  із сортаменту підібрати кутики для стійок, розкосів, нижнього пояса і вписати їх геометричні характеристики.

3. Вибрати тип електрода. Для сталі ВСт. 3 можна прийняти електрод Е-42 (розрахунковий опір на зріз  $R_{\text{зр}}^{\text{сд}} = 150$  МПа), для низьколегованої сталі – Е-50А ( $R_{\text{зр}}^{\text{сд}} = 200$  МПа).

4. Нанести геометричну схему вузла. Осьові лінії елементів повинні сходитися в його центрі. Знаючи  $z_0$  кожного кутика, накреслити

конструкцію вузла так, щоб розмір  $a$  був у межах  $40 \div 50$  мм. Знаючи зусилля  $S_1, S_2, S_3$ , підрахувати довжину зварних швів для кожного кутика.

*Примітка.* Незалежно від розрахунку довжини  $l_1$  і  $l_2$  не повинна бути меншим за 60 мм. Розміри зварних швів  $l_1$  і  $l_2$  визначають розміри фасонки (див. рис. 20): її довжину  $A$  і ширину  $B$ . До нижнього пояса фасонки приварюють безперервним швом мінімального катета.

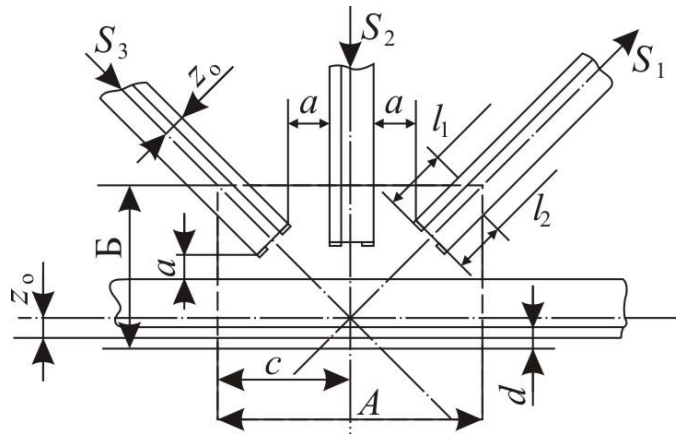


Рисунок 20

**Завдання 12.** Розрахувати монтажне болтове з'єднання. З'єднання показано на рис. 21; болти нормальної точності – за ГОСТ 7798-70.

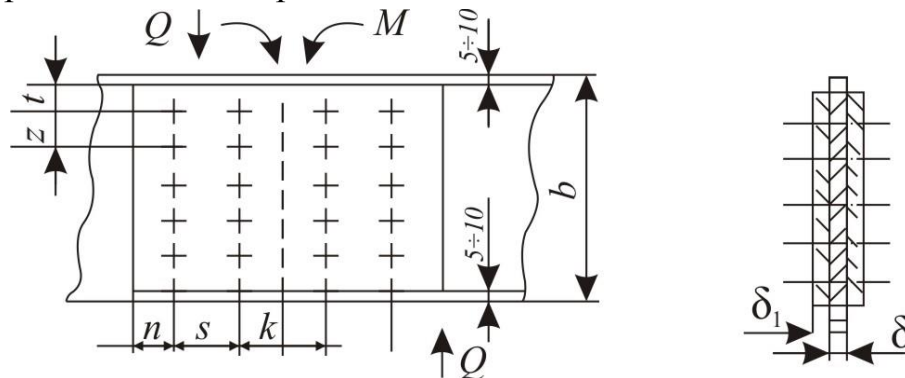


Рисунок 21

У з'єднанні діє згинальний момент  $M$  і поперечна сила  $Q$ . З умови міцності болтів на зріз і зминання потрібно визначити діаметр і кількість болтів, а також виконати компоновку з'єднання, як показано на рис. 21, тобто визначити розміри  $n, s, k, r, t$ .

Розрахункові опори для болтового з'єднання приймають такими: на зріз  $R_{зр} = 150$  МПа, на зминання  $R_{зм} = 300$  МПа.

Вихідні дані наведено у табл. 13.

Таблиця 13

Варіант	Розміри листа, см		Варіант	Розміри листа, см	
	$b$	$\delta$		$b$	$\delta$
1	40	0,5	13	65	0,8
2	40	0,6	14	70	0,7
3	45	0,6	15	70	0,8
4	45	0,7	16	70	0,9
5	50	0,6	17	75	0,8
6	50	0,7	18	75	0,9
7	55	0,7	19	75	1,0
8	55	0,8	20	80	0,8
9	60	0,6	21	80	0,9
10	60	0,7	22	80	1,0
11	60	0,8	23	90	1,0
12	65	0,7	24	90	1,2

### *Порядок виконання завдання*

1. Знайти значення  $M$  і  $Q$  за розмірами перерізу листа  $b$  і  $\delta$  з умови міцності

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma], \quad \tau = \frac{Q}{\delta \cdot b} \leq 0,6 [\sigma].$$

Ураховуючи послаблення перерізу листа отворами, прийняти  $[\sigma] = 150$  МПа.

2. Задатися розмірами накладок і кількістю болтів, при цьому товщина накладки призначається у межах  $\delta_1 = (0,6 \div 0,7)\delta$ . Число рядів болтів з одного боку повинно бути не менше двох.

3. За відомими формулами визначити зусилля, яке діє на один болт моменту  $N_1$  і зусилля від  $Q-N_2$ . Сумарне зусилля на болт буде  $N = \sqrt{N_1^2 + N_2^2}$ .

4. Знаючи розрахункові опори  $R_{зр}$ ,  $R_{зм}$  і зусилля  $N$ , обчислити діаметр болта з умови зрізу і зминання. Встановити діаметр болта за ГОСТ

(діаметр болта повинен бути порівнянним з товщиною листа:  
 $d_{\delta} = (1,5 \div 2,0)\delta$ ).

5. Якщо остання умова виконується, то здійснити компоновку болтового з'єднання, тобто визначити розміри  $r$ ,  $t$ ,  $n$ ,  $s$ ,  $k$ , при цьому номінальна відстань між болтами повинна бути не менше трьох діаметрів болта, а між отворами і краєм накладки – не менше двох. Якщо умова  $d_{\delta} = (1,5 \div 2,0)\delta$  не виконується, варто призначити іншу кількість болтів, провести перерахунок і виконати нову компоновку болтового з'єднання.

**Завдання 13.** Визначити геометричні характеристики симетричного та асиметричного перерізів.

Балки симетричного й асиметричного перерізів зображено на рис. 22, 23.

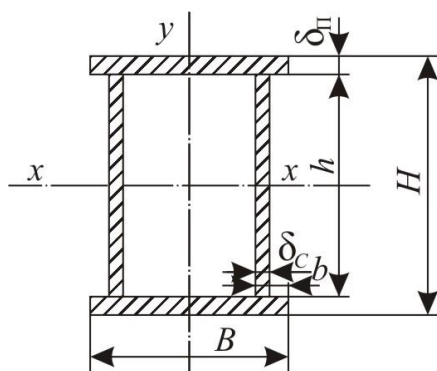


Рисунок 22

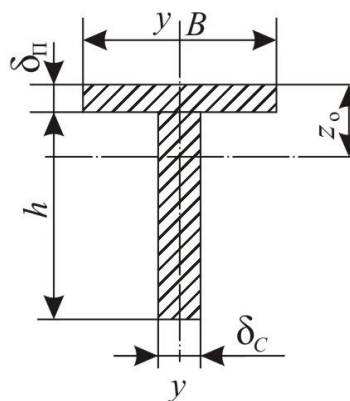


Рисунок 23

Вихідні дані взяти з табл. 14.

Таблиця 14

Варіант	Симетричний переріз, см					Асиметричний переріз, см			
	$h$	$\delta_c$	$B$	$b$	$\delta_n$	$h$	$\delta_n$	$B$	$\delta_c$
1	100	0,5	35	1,0	0,6	60	1,0	30	0,6
2	110	0,5	40	1,2	0,6	60	1,0	35	0,6
3	120	0,5	45	1,3	0,8	60	1,5	40	0,6
4	130	0,6	50	1,4	0,8	70	1,5	40	0,8
5	140	0,6	55	1,4	0,8	70	1,6	40	0,8
6	150	0,6	60	1,5	1,0	80	1,6	45	0,8

Продовж. табл. 14

7	160	0,6	65	1,5	1,0	80	1,8	45	0,8
8	170	0,8	70	1,6	1,2	80	2,0	45	1,0
9	180	0,8	70	1,6	1,2	90	2,0	45	1,0
10	100	0,8	50	1,0	0,8	90	2,2	50	1,0
11	110	0,8	50	1,2	0,8	90	2,5	50	1,1
12	120	0,8	60	1,4	0,8	100	2,6	50	1,2
13	130	1,0	60	1,4	1,0	100	2,8	50	1,2
14	140	1,0	70	1,5	1,0	100	3,0	50	1,2
15	150	1,0	70	1,5	1,2	110	3,2	50	1,4
16	160	1,2	80	1,6	1,2	110	3,4	55	1,4
17	170	1,2	80	1,6	1,4	110	3,6	55	1,6
18	180	1,4	85	1,8	1,4	120	3,6	60	1,6
19	190	1,4	85	2,0	1,6	120	4,0	60	2,0
20	190	1,4	85	2,0	1,6	120	4,0	60	2,0

**Завдання 14.** Визначити критичне навантаження  $P_{кр}$  для двотаврової балки (рис. 24).

Порівняти його з навантаженням  $P_1$ , отриманим з умови стійкості, та з навантаженням  $P_2$ , отриманим з урахуванням стійкості.

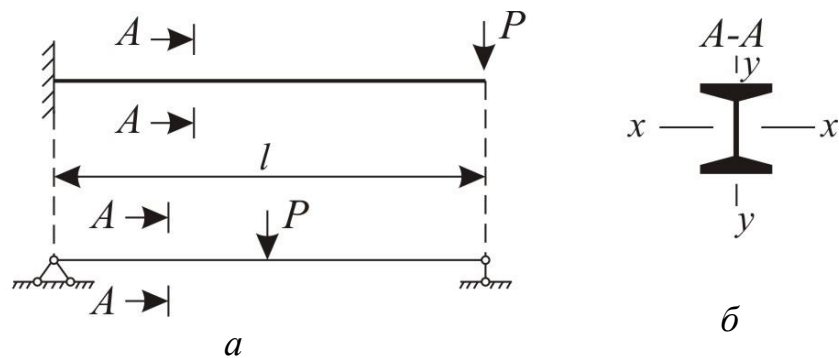


Рисунок 24

Сила  $P$  прикладена до верхнього пояса по стінці профілю. Матеріал балки – Ст. 3, допустиме напруження  $[\sigma] = 210$  МПа. Вихідні дані наведені у табл. 15.

Таблиця 15

Варіант	Дані до рис. 24, а		Дані до рис. 24, б		
	$l$ , м	Номер балки	$l$ , м	Номер балки	$I_k$ , см <sup>4</sup>
1	3	10	5	10	2,28
2	3	12	6	10	2,28
3	3,5	10	5	12	2,88
4	3,5	12	6	12	2,88
5	4	12	6	14	3,59
6	4	14	7	14	3,59
7	4,5	14	8	14	3,59
8	4,5	12	8	16	4,46
9	5,0	16	9	16	4,46
10	5,0	14	9	18	5,60
11	5,5	16	10	18	5,60
12	5,5	14	10	20	6,92
13	6,0	16	11	20	6,92
14	6,0	18	11	22	8,60
15	6,5	18	12	22	8,60
16	6,5	20	12	24	11,1
17	7,0	20	13	224	11,1
18	7,0	18	13	27	13,6
19	7,5	20	14	27	13,6
20	7,5	22	14	30	17,4

## Порядок виконання завдання

## 1. Знайти критичну силу

$$P_{\text{крит}} = \frac{\hat{E} \sqrt{B \cdot C}}{l^2},$$

де  $B = E \cdot I_y$  – мінімальна жорсткість перерізу балки (тут  $E = 2,1 \cdot 10^4$  кН/см<sup>2</sup>;  $I_y$  – момент інерції перерізу балки відносно осі у–у, який визначається згідно із сортаментом);  $C = GI_{\text{к}}$  – жорсткість перерізу



балки при крученні (тут  $G = 8,1 \cdot 10^3$  кН/см<sup>2</sup>;  $I_{\phi}$  – момент інерції при крученні (його значення наведено в табл. 15);  $K$  – коефіцієнт, який залежить від параметра  $\eta$ .

Безрозмірний параметр

$$\eta = \frac{l^2 \cdot 2 \cdot C}{h^2 D},$$

де  $D$  – жорсткість полиці при вигині.

Для консольної балки значення  $K$  подано нижче:

$\eta$	0,1	1	2	3	4	6	10	24	40
$K$	5,43	15,7	12,2	10,7	9,76	8,69	7,58	6,19	5,64

При  $\eta > 40$   $\hat{E} = 4 / (1 - \frac{1}{\sqrt{\eta}})^2$ .

Значення  $K$  для двоопорної балки:

$\eta$	0,4	4	8	16	32	64	160	400
$K$	86,4	31,9	25,6	21,8	19,6	18,3	17,5	17,2

2. Визначити допустиму силу  $P_1$  з формули

$$\sigma = \frac{\beta P_1 \cdot l}{W_x} \leq [\sigma].$$

3. Знайти те ж саме навантаження, але з урахуванням стійкості:

$$\sigma = \frac{\beta P_2 \cdot l}{\varphi_{\delta} \cdot W_x} \leq [\sigma],$$

де  $\varphi_{\delta}$  – коефіцієнт зменшення допустимого напруження при поперечному, вигині визначається за довідником.

4. За отриманими значеннями  $P_{кр}$ ,  $P_1$  і  $P_2$  зробити висновки.

**Завдання 15.** Вибір перерізу головної балки мостового крана залежно від вертикальних навантажень за умовою міцності.

Схему моста показано на рис. 25.

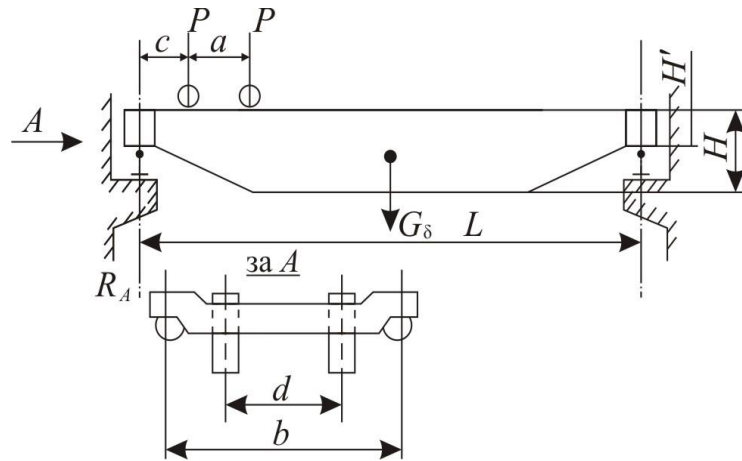


Рисунок 25

На рисунку 25:  $H = (1/14 \div 1/18)L$  – висота балки у середині прогону;  $H' = (0,5 \div 0,6)$  – висота балки в опорному перерізі;  $b = (1/5 \div 1/7)L$  – база крана;  $d$  – база візка;  $a$  – колія візка (див. табл. 12). Розмір  $c = 0,2a$  фіксує крайнє ліве положення візка.

Допустимі напруження від вертикальних навантажень приймають: для Ст. 3 –  $[\sigma] = 230$  МПа. Вихідні дані наведені у табл. 16.

Таблиця 16

Варіант	$L$ , м	$Q$ , кН	Марка сталі	$G_T$ , кН	$G_\delta$ , кН	База візка $d$ , м	Режим роботи
1	10,5	50	Вст. 3 сп. 5	16	10	1,4	л
2	13,5	50	—“—	17	13	1,6	с
3	16,5	50	—“—	23	25	1,8	в
4	19,5	10	—“—	24	70	2,0	л
5	22,5	10	09Г2	27	80	2,0	с
6	25,5	10	—“—	35	100	2,0	в
7	28,5	150	Вст. 3 сп. 5	44	120	2,2	л
8	31,5	150	—“—	46	140	2,2	с
9	10,5	200	—“—	76	40	2,3	с
10	13,5	200	—“—	83	50	2,3	в
11	16,5	250	—“—	85	70	2,4	с
12	19,5	150	—“—	44	100	2,2	л
13	22,5	150	—“—	46	110	2,2	с

Продовж. табл. 16

14	28,5	200	—“—	80	160	2,3	с
15	31,5	200	09Г2	85	170	2,3	с
16	13,5	300	—“—	90	60	2,1	л
17	16,5	300	—“—	95	75	2,3	с
18	28,5	300	—“—	100	100	2,5	с
19	31,5	300	Вст. 3 сп. 5	120	140	2,5	в
20	34,5	300	“	120	180	2,5	с

*Примітка.* У графі «режим роботи» прийняті позначення: л – легкий; с – середній; в – важкий.

Переріз балки показано на рис. 22. Слід визначити геометричні параметри перерізу, тобто вибрати висоту стінки  $h$ , ширину пояса  $B$ , товщину поясів  $\delta_{\text{п}}$  і стінок  $\delta_{\text{с}}$ .

#### *Порядок виконання завдання*

1. Визначити згинальний момент у середині прогону балки від рухомого навантаження  $M_{\text{р}}$  і від власної ваги балки  $M_{\text{q}}$ .

Сумарний момент  $M = M_{\text{р}} + M_{\text{q}}$ .

2. З умови міцності

$$\sigma = \frac{M}{W_x} \leq [\sigma] \quad (3)$$

знайти момент опору  $W_x$ .

3. Визначити та орієнтовно вибрати висоту стінки  $h$  з двох умов:

$$h = \sqrt{\frac{3W_x}{2\delta_{\text{с}}}}, \quad h = \left(\frac{1}{14} - \frac{1}{18}\right)L.$$

При цьому значення  $h$  має бути кратним 50 мм. Товщина стінки назначається у межах  $\delta_{\text{с}} = 5 \div 8$  мм (менше значення для малих значень прогонів і вантажопідйомності, більше – для великих).

3. Призначити ширину балки кратною 10 мм у межах  $B = (1/2 \div 1/3)H$ . Товщину поясу призначити як  $\delta_{\text{п}} \geq \delta_{\text{с}}$ , але не більше  $2\delta_{\text{с}}$ .

4. За обраними геометричними параметрами накреслити (у масштабі) переріз балки і підрахувати фактичний  $W_x^{\circ}$ .

5. Якщо  $W_x^{\circ}$  відрізняється від  $W_{\delta}$ , розрахованого за (3), не більш ніж на 5 %, то переріз балки вибрано задовільно; якщо  $W_x^{\circ}$  не відповідає цій умові, необхідно змінити геометричні параметри перерізу і виконати перерахунок.

6. Підрахувати нормальні і середні дотичні напруження у середині прогону балки; визначити приведені напруження у місці переходу стінки в пояс і порівняти з допустимими напруженнями.

7. Опорний переріз балки з висотою  $H'$  перевірити тільки на максимальні дотичні напруження, для чого вантажний візок потрібно встановити у крайнє ліве положення і знайти поперечну силу в опорному перерізі від рухомого навантаження і власної ваги балки  $Q_{q+p}$ .

Максимальні дотичні напруження не повинні перевищувати  $0,6[\sigma]$ .

**Завдання 16.** Перевірити місцеву стійкість верхнього пояса і стінки головної балки.

Переріз балки повинен відповідати вибраному в завданні 15.

Накреслити у масштабі головну балку та її переріз з поперечними та поздовжніми ребрами жорсткості.

#### *Порядок виконання завдання*

1. Проставити поперечні ребра жорсткості (діафрагми) на відстані  $(1,5 \div 2,0)H$ .

2. Перевірити стійкість верхнього пояса, для чого знайти критичні напруження у поясі як для пластини, що з двох боків затиснена, а з двох інших боків обперта.

Порівняти значення фактичних напружень у поясі (в середині прогону – див. завдання 15) з отриманими значеннями критичних напружень.

3. Стійкість стінки перевірити у двох відсіках: в опорному й у стінці в середині прогону.

Стійкість стінки в опорному відсіку перевірити за критичними дотичними напруженнями, порівнявши їх з максимальними дотичними напруженнями, одержаними при виконанні завдання 15.

Стійкість стінки (пластини, яка обмежена двома поперечними діафрагмами і поясами) в середині прогону перевірити за критичними нормальними напруженнями, які порівнюються з нормальними напруженнями, знайденими в завданні 15.

4. Якщо  $\sigma_{\text{сд}}/\sigma < 1,2$ , то необхідно встановити поздовжнє ребро жорсткості з моментом інерції  $I_{\delta} \geq 1,5h \cdot \delta_c^3$ , де  $I_{\delta}$  – момент інерції ребра жорсткості відносно кромки стінки.

**Завдання 17.** Вибрати переріз елементів кранової ферми за умовами міцності та стійкості.

Геометрична схема ферми подана на рис. 19. Зусилля в елементах ферми обчислено в завданні 10.

#### *Порядок виконання завдання*

1. Усі елементи ферми вибирають за максимальними зусиллями.

2. *Верхній пояс.* Максимального зусилля від навантажень  $P$  і  $q$  зазнають стрижні у середніх панелях ферми – це стрижні 8–10 і 10–11 (див. рис. 19). Площа перерізу стрижня

$$\sigma = \frac{S}{\phi F} + \frac{M_i}{W_x} \leq [\sigma], \quad (4)$$

де  $S = S_p + S_q$  – зусилля у стрижні;  $\phi$  – коефіцієнт зменшення допустимих напружень, залежить від гнучкості стрижня;  $M_i = \frac{p \cdot l}{6}$  – місцевий згинальний момент ( $l$  – довжина стрижня);  $W_x$  – осьовий момент перерізу стрижня.

Оскільки  $\phi$  і  $W_x$  невідомі, то попередньо площу перерізу стрижня  $F$  обирають без урахування вигину, тобто з формули

$$\sigma = \frac{S}{\varphi F} \leq (0,6 \div 0,7)[\sigma] \quad (5)$$

задаючись коефіцієнтом  $\varphi = 0,7 \div 0,8$ .

Отримавши з (5) значення  $F$ , призначити переріз стрижня або з двох кутиків (для легких ферм), або тавровий (для важких ферм).

Призначивши переріз, визначити  $\varphi$  і  $W_x$ . Якщо умова (4) виконується, то переріз вибрано задовільно, якщо – ні, то слід змінити площу перерізу  $F$  у той або інший бік і знову перевірити за формулою (4).

3. *Нижній пояс.* Стрижні нижнього пояса розтягнуті, тому площа перерізу

$$\sigma = \frac{S}{F} \leq [\sigma].$$

За отриманим значенням  $F$  призначити переріз пояса з двох кутиків.

4. *Розкоси і стійки.* Максимальне зусилля від навантажень  $p$  і  $q$  сприймають опорні розкоси 2–4 і 4–5 (див. рис. 19). Розкіс 2–4 розтягнутий, розкіс 4–5 стиснутий. Тому площу перерізу розкосів слід розрахувати для двох випадків за зусиллям  $S_{2-4}$  (розкіс розтягнутий) і за зусиллям  $S_{4-5}$  (розкіс стиснутий). Переріз розкосу вибирають з двох кутиків за більшою площею.

Стійки працюють на стиснення. Максимальне зусилля у стійці  $S = q + p$ , за цим зусиллям підібрати переріз з двох кутиків.

5. За вибраними елементами верхнього і нижнього поясів, розкосів і стійок накреслити у масштабі одну панель кранової ферми, схема якої подана на рис. 12. При цьому необхідно встановити планки між кутиками на відстані  $l_1 = 40r_x$  для стиснених елементів і проставити усі потрібні розміри.

**Завдання 18.** Виконати розрахунок і підібрати переріз суцільної колони, яка сприймає поздовжню силу  $P$  з ексцентриситетом  $e$ .

Схему колони та її переріз зображено на рис. 26, де використано такі позначення:  $F_1$  – площа перерізу двотавра;  $F_2$  – площа перерізу швелера;  $x-x$  – вісь, яка проходить через центр тяжіння усього перерізу;  $x_1-x_1$  – вісь,

яка проходить через центр тяжіння двотавра;  $x_2$ – $x_2$  – вісь, яка проходить через центр тяжіння швелера.

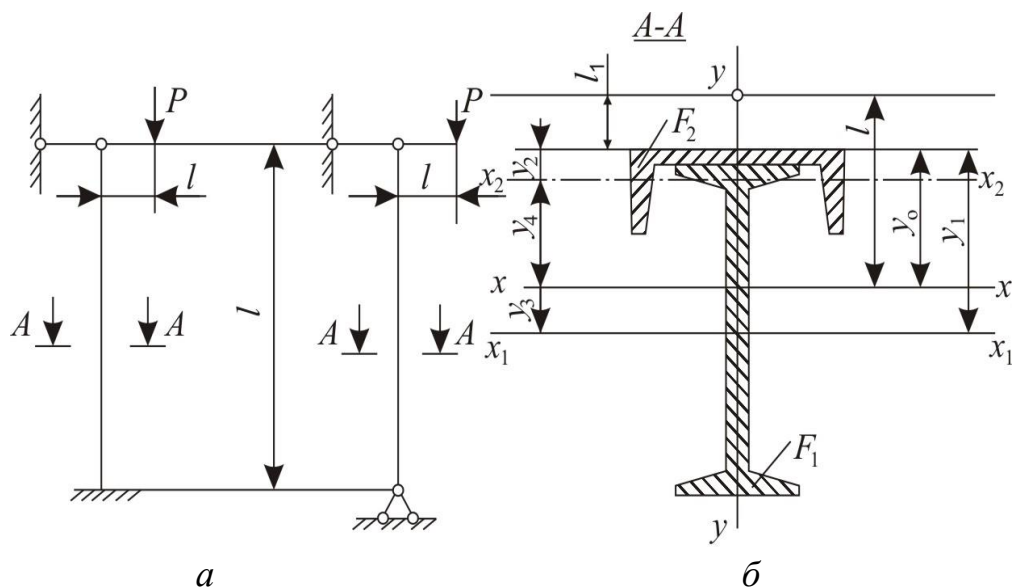


Рисунок 26

Вихідні дані для завдання наведено в табл. 17.

Таблиця 17

Варіант	Дані до рис. 26, а			Варіант	Дані до рис. 26, б		
	$P$ , кН	$l$ , м	$l_1$ , см		$P$ , кН	$l$ , м	$l_1$ , см
1	200	10	5	13	150	8	8
2	200	9	5	14	150	8	7,5
3	220	9	6	15	170	8	7
4	220	8,5	6	16	170	7,5	7
5	240	8,5	6	17	180	7,5	6
6	240	8	5,5	18	180	7,0	6
7	250	8	5,5	19	200	6,5	6
8	260	7,5	5	20	200	6	5,5
9	280	7,5	5	21	220	6	5,5
10	280	7,0	5	22	220	5,5	5
11	300	7,0	5	23	240	5,0	5
12	300	6,5	5,5	24	240	5,0	4,5

### Порядок виконання завдання

1. Перерізи  $F_1$  і  $F_2$  спочатку підбирають орієнтовно за формулою

$$\sigma = \frac{P}{F \cdot C \cdot \varphi_y} \leq [\sigma], \quad (6)$$

де  $F = F_1 + F_2$  – площа перерізу;  $C$  – коефіцієнт, який ураховує додаткові згинально-крутильні напруження, що виникають у перерізі внаслідок прикладання навантаження  $P$  з ексцентриситетом (при прикладанні сили  $P$  по центру тяжіння перерізу  $C = 0$ );  $\varphi_y$  – коефіцієнт зменшення допустимих напружень при поздовжньому вигині відносно осі  $y$ – $y$ ;  $[\sigma]$  – допустиме напруження, приймати: для Ст. 3  $[\sigma] = 200$  МПа; для низьколегованої сталі  $[\sigma] = 300$  МПа.

Оскільки переріз невідомий, то задавати  $\varphi_y = 0,7 \div 0,8$ ;  $C = 0,7 \div 0,8$ .

Підставляючи в (6) знайдені значення, обчислити  $F$ . За сортаментом вибрати  $F_1$  і  $F_2$  так, щоб можна було виконати зварювання, тобто стінка швелера повинна бути більшою за полицю двотавра. Орієнтовно  $F_1 = (2,5 \div 3)F_2$ .

2. Визначити гнучкість колони відносно осі  $y$ – $y$ :

$$\lambda_y = \frac{\mu \cdot l}{r_y}, \quad (7)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт, який залежить від закріплення колони;  $r_o$  – радіус

інерції перерізу колони:  $r_y = \sqrt{\frac{I_y}{F}}$ .

За (7) знайти  $\lambda_y$ , а за таблицями, поданими у довідковій літературі,  $\varphi_y$ .

3. Визначити центр тяжіння перерізу – вісь  $x$ – $x$ , тобто ординату  $y_0$ .

4. Відносно осі  $x$ – $x$  знайти момент інерції перерізу  $I_x$  та момент опору  $W_x$  для стисненого волокна:

$$W_x = \frac{I_x}{y_0}.$$



5. Обчислити гнучкість колони  $\lambda_x$  відносно осі  $x-x$  і відповідно  $\varphi_x$

$$\sigma = \frac{P}{\varphi_x F} + \frac{P \cdot e}{W_x}. \quad (7)$$

Напруження  $\sigma$  у стиснутому волокні перерізу (зовнішня кромка стінки швелера) – це максимальне напруження в колоні у площині дії моменту.

6. Розрахувати максимальне напруження з площини дії моменту. Це напруження знайти за формулою (6). Коли відомий переріз, знайдемо коефіцієнт  $C$ :

$$C = \frac{\beta}{1 + \alpha \cdot m_x},$$

де  $m_x = e \frac{F}{W_x}$  – відносний ексцентриситет;  $\alpha$  і  $\beta$  – коефіцієнти, які визначають нижче залежно від значень відносного ексцентриситета  $m_x$  та гнучкості стрижня  $\lambda_{\bar{n}}$ :

$m_x$	$m_x \leq 1$	$1 < m_x \leq 5$	$m_x > 5$
$\alpha$	0,7	$0,65 + 0,05 m_x$	0,9
$\lambda_{\bar{n}}$	$\lambda_x \leq \lambda_{\bar{n}}$	$\lambda_y > \lambda_{\bar{n}}$	
$\beta$	1	$\sqrt{\varphi_c / \varphi_y}$	

Для Ст. 3  $\lambda_{\bar{n}} = 100$ , для низьколегованої сталі  $\lambda_c = 92$ .

Підставляючи значення  $C$  та  $\varphi_y$  у (6), отримаємо напруження на зовнішньому волокні полиці швелера.

7. Якщо значення напружень (6) і (7) перебувають у межах допустимих:  $[\sigma] \pm 5 \%$ , то переріз вибрано задовільно, у противному випадку призначити інші  $F_1$  і  $F_2$  та провести розрахунок.

**Завдання 19.** Виконати розрахунок поворотної башти баштового крана. Схема башти зображена на рис. 27.

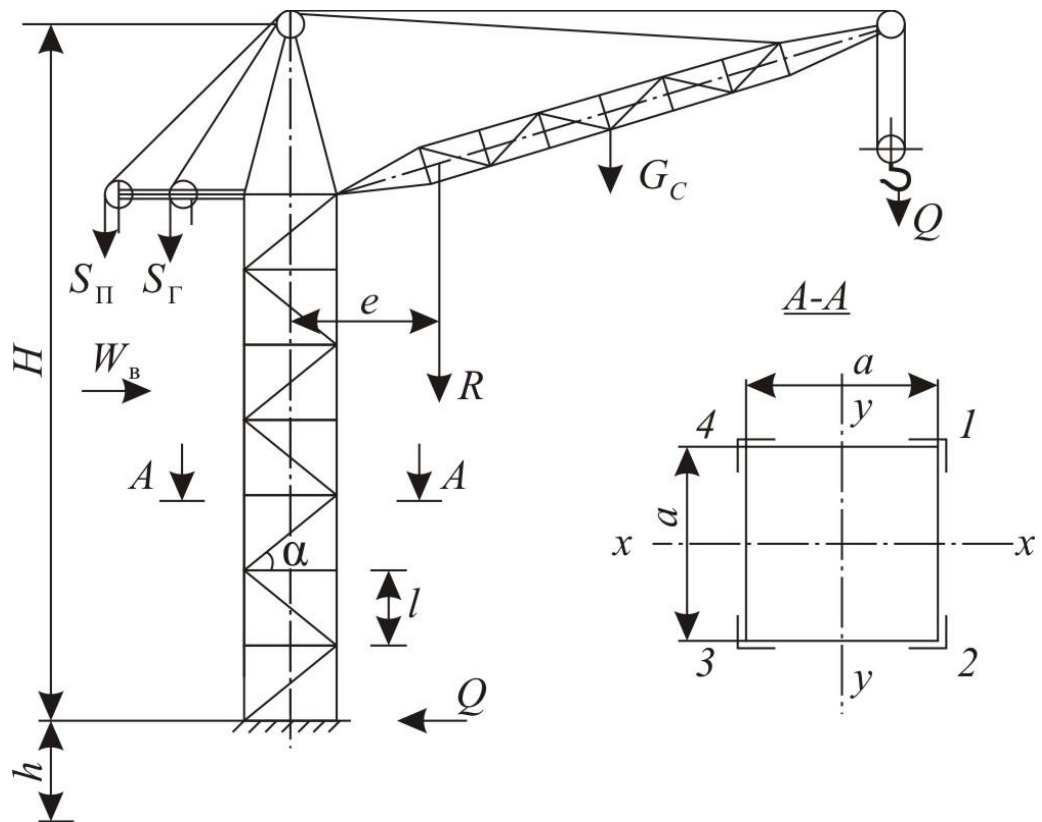


Рисунок 27

Навантаження від ваги вантажу  $Q$  і стріли  $G_c$ , зусиль у стрілковому поліспасті  $S_{\Pi}$  і вантажному канаті  $S_{\Gamma}$  приведені до рівнодійної  $R$ , яка відстоїть від осі башти на відстані  $e$ . Крім цього навантаження, на башту діє вітрове навантаження  $W_v$ , яке спрямоване у бік стріли. Розмір  $h$  показує відстань від головки рейки до місця закріплення башти у порталі, а розмір  $H$  – висоту башти з оголовком. Переріз башти квадратний зі стороною  $a$ . Профіль поясів і розкосів – кутики.

Варто розрахувати і підібрати номер кутика пояса і розкосу башти. Деформацію башти від навантажень і власної ваги не враховуємо.

Дані для завдання подано в табл. 18.

Таблиця 18

Варіант	$R$ , кН	$l$ , см	$H$ , м	Варіант	$R$ , кН	$l$ , см	$H$ , м
1	1000	40	16	11	150	40	36
2	120	45	16	12	170	45	36
3	140	50	20	13	170	45	40
4	160	55	20	14	190	50	40
5	160	55	24	15	190	50	44
6	180	60	24	16	210	55	44
7	180	60	28	17	210	60	48
8	200	65	28	18	210	65	48
9	200	65	32	19	230	70	50
10	220	70	32	20	200	50	50

*Порядок виконання завдання*

1. Задатися розміром перерізу башти.

Оскільки всередині башти встановлюється драбина для крановика, то цей розмір приймаємо не меншим 1 м.

2. У нашому випадку найбільш навантаженими поясами будуть 1 і 2 (див. переріз  $A-A$ , рис. 27).

3. Максимальне зусилля в поясі 1 або 2 буде біля закладення:

$$N_1 = N_2 = \frac{R}{4} + \frac{R \cdot l}{2a} + \frac{\sum W_{ai} \cdot h_i}{2a}. \quad (9)$$

4. Визначити вітрове навантаження. Для всіх варіантів приймаємо  $h = 3$  м. Тоді вітрове навантаження

$$W_a = q \cdot k \cdot c \cdot n \cdot F_1, \quad (10)$$

де  $q = 160$  Па – динамічний тиск вітру;  $k$  – коефіцієнт, який залежить від висоти (табл. 22);  $c$  – коефіцієнт аеродинамічної сили (для башти  $c = 3,1$ );  $n$  – коефіцієнт перевантаження, для робочого стану  $n = 1$ ;  $F_1$  – підвітряна площа,  $m^2$ :  $F_1 = 0,2F$ , де  $F$  – площа, обмежена зовнішнім контуром ферми.

Таблиця 19

Висота відносно відмітки рт. ст. 0.00, м	$k$	Висота відносно відмітки рт. ст. 0.00, м	$k$
10	1,0	50	1,65
20	1,25	60	1,75
30	1,4	70	2,1
40	1,55		

5. За зусиллям  $N_1$  обчислюють переріз пояса башти:

$$\sigma = \frac{N_1}{\phi F_{\text{г}}} \leq [\sigma], \quad (11)$$

де  $\phi = f(\lambda)$  – коефіцієнт зменшення допустимих напружень;  $[\sigma] = 210 \text{ МПа}$  ( $2100 \text{ кН/см}$ ) – допустиме напруження.

Гнучкість пояса при сполучених та суміжних гранях вузлів

$$\lambda = \frac{l}{r_{\min}}, \quad (12)$$

де  $l$  – довжина панелі, см;  $r_{\min}$  – мінімальний радіус інерції перерізу кутика (див. сортамент).

Спочатку задаються значенням  $\phi = 0,7 \div 0,8$  і за (11) знаходять  $F_{\text{г}}$ .

Вибравши за  $F_{\text{г}}$  із сортаменту кутик, за (12) визначають фактичні  $\lambda$  і  $\phi$ .

Остаточно номер кутика потрібно перевірити за умовою (11). Для високих башт ( $H \geq 30 \text{ м}$ ) необхідно знайти приведену гнучкість  $\lambda_{\text{гд}}$  башти; якщо  $\lambda_{\text{гд}} > 100$ , то слід збільшити переріз пояса або розмір  $a$ .

6. Переріз розкосу вибрати аналогічно вибору розкосу плоскої ферми за поперечною силою  $Q$ . Поперечна сила  $Q$  в заділі дорівнює вітровому навантаженню  $W_{\text{а}}$ .

Площа перерізу розкосу

$$\sigma = \frac{Q}{2 \cos \alpha \cdot \varphi_p \cdot F_p} \leq [\sigma]. \quad (13)$$

Спочатку значення коефіцієнта  $\varphi_p$  беруть орієнтовно. Після вибору кутика знаходять гнучкість розкошу:

$$\lambda_p = \frac{l_p}{r_{\min}}.$$

Якщо умова (13) виконується, то переріз розкошу вибрано правильно.

## ЗМІСТ

Розділ 1. БУДІВЕЛЬНА МЕХАНІКА.....	4
<b>1.1. Статистично визначені системи.....</b>	<b>4</b>
<i>Завдання 1.</i> Побудувати лінії опорних реакцій та визначити значення згинальних моментів та поперечних сил з допомогою ліній впливу.....	4
<i>Завдання 2.</i> Побудувати епюри згинального моменту і поперечної сили для багатопрогонової статистично визначеної балки.....	6
<i>Завдання 3.</i> Визначити зусилля у всіх стрижнях ферми графічним методом (діаграма Кремони).....	8
<i>Завдання 4.</i> Побудувати лінії впливу зусиль у заданих стрижнях ферми .....	10
<i>Завдання 5.</i> Визначити за формулою Мора вертикальне переміщення вузла ферми.....	12
<i>Завдання 6.</i> Визначити аналітично за формулою Мора та перевірити за методом Верещагіна прогин $\delta$ або поворот перерізу $\alpha$ у точці $C$ балки.....	15
<b>1.2. Статично невизначні системи.....</b>	<b>17</b>
<i>Завдання 7.</i> Побудувати епюру згинальних моментів для балки (рами), використовуючи канонічні рівняння методу сил .....	17
<i>Завдання 8.</i> Визначити зусилля у стрижнях ферм.....	19
<i>Завдання 9.</i> Побудувати епюру згинального моменту для основної балки шпренгельної конструкції .....	22
Розділ 2. МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ.....	25
<i>Завдання 10.</i> Знайти зусилля у стрижнях кранової ферми від власної ваги і рухомого навантаження.....	25
<i>Завдання 11.</i> Розрахувати зварний вузол кранової ферми.....	28
<i>Завдання 12.</i> Розрахувати монтажне болтове з'єднання.....	29
<i>Завдання 13.</i> Визначити геометричні характеристики симетричного та асиметричного перерізів.....	31
<i>Завдання 14.</i> Визначити критичне навантаження для двотаврової балки.....	32
<i>Завдання 15.</i> Вибір перерізу головної балки мостового крана залежно від вертикальних навантажень за умовою міцності.....	33
<i>Завдання 16.</i> Перевірити місцеву стійкість верхнього пояса і стінки головної балки.....	36

<i>Завдання 17.</i> Вибрати переріз елементів кранової ферми за умовами міцності й стійкості.....	37
<i>Завдання 18.</i> Виконати розрахунок і підібрати переріз суцільної колони, яка сприймає поздовжню силу з ексцентриситетом.....	38
<i>Завдання 19.</i> Виконати розрахунок поворотної башти баштового крана	42

Навчальне видання

**КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ**  
**ДО КУРСУ «БУДІВЕЛЬНА МЕХАНІКА**  
**ТА МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ»**  
для студентів спеціальності 7.090.214  
“Підйомно-транспортні, будівельні,  
дорожні машини та обладнання”

Укладачі: ГРИГОРОВ Отто Володимирович,  
ПЕТРЕНКО Надія Олександрівна,  
СТРИЖАК Всеволод Вікторович

Відповідальний за випуск О.В.Григоров

Роботу до видання рекомендував В.Г.Дяченко

Редактор Л.А. Копієвська

План 2010 р., поз. 77/

Підп. до друку \_\_\_\_\_ Формат 60х84 1/16. Папір офсетний. Друк – ризографія.  
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 2,3. Обл.-вид.арк 2,5. Наклад 150 прим.  
Зам. № \_\_\_\_ . Ціна договірна.

---

Видавничий центр НТУ «ХП».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 10.07.2000 р.

61002 Харків, вул. Фрунзе, 21

---

Друкарня НТУ «ХП», 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21